

ДИФФУЗИЯ SF₆ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ИЗЛУЧЕНИЯ СО₂-ЛАЗЕРА¹⁾

Ю.В.Бржазовский, Л.С.Василенко, Н.Н.Рубцова

В работе исследована диффузия газа SF₆ в смеси с буферным газом Не под действием излучения СО₂-лазера в зависимости от расстройки его частоты относительно центра линии поглощения SF₆. В пределах точности эксперимента изменение плотности газа не зависело от знака расстройки частоты. Наблюдаемый процесс объясняется лазерной термодиффузией и не связан со светоиндуцированным дрейфом.

Под действием непрерывного ИК излучения, резонансно поглощаемого молекулярными газами в области давлений 0,1 ÷ 10 Тор имеет место изменение парциальных концентраций компонентов смеси. В работах^{1, 2} это связывалось с процессами лазерной термодиффузии. В работах³⁻⁵ разделение смесей связывалось с явлением светоиндуцированного дрейфа (СИД)^{6,8}. Таким образом, сходные по условиям эксперимента и проявлению эффекты, интерпретировались различными по своей физической природе явлениями, и до последнего времени ясности в этом вопросе нет. Прямым подтверждением существования СИДа должна быть зависимость диффузионных процессов в молекулярных газах, облучаемых лазерным излучением, от знака расстройки частоты возбуждающего лазера относительно центра перехода поглощающего газа. В экспериментах, описанных в опубликованных работах по СИДу³⁻⁵, такая перестройка не осуществлялась. Исходя из этого мы поставили эксперимент по обнаружению СИДа в смеси газов SF₆ + Не в условиях, когда осуществлялась перестройка частоты возбуждающего лазера относительно центра линии поглощения SF₆.

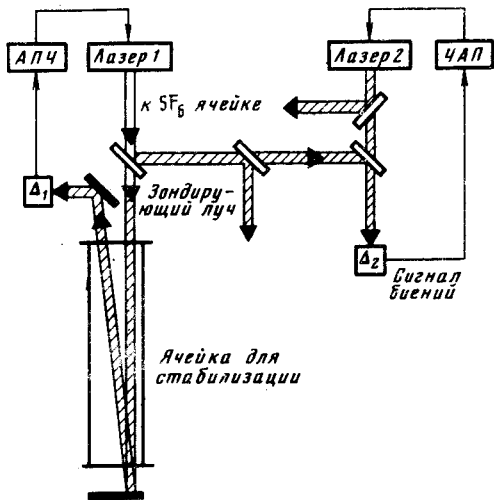


Рис. 1

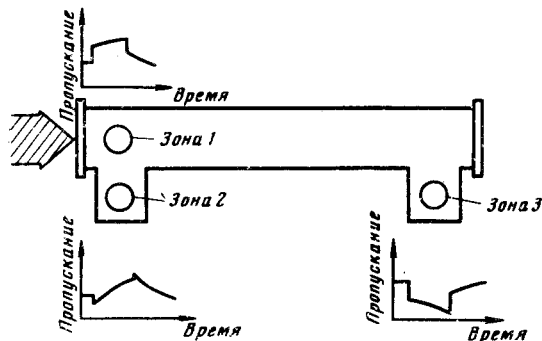


Рис. 2

Рис. 1. Д₁, Д₂ — фотодетекторы, АПЧ — система автоматической подстройки частоты, ЧАП — система привязки частоты лазера 2 к частоте стабилизированного лазера 1 ($\Delta = \pm 10$ МГц)

Рис. 2. Поглощающая ячейка

Исследования проводились в медных и стеклянных ячейках. Внутренний диаметр медной ячейки — 4 мм, стеклянной — 4 мм. Длина обеих ячеек 18 см. Боковые отростки для регистрации изменений поглощения в исследуемой смеси, расположенные у обоих торцов медной ячейки, имели толщину 4 мм и позволяли производить измерения поглощения вблизи оси ячейки (зона 1) и на расстояниях до 10 мм от нее (зона 2, 3).

В экспериментах использовалось два СО₂-лазера (рис. 1). Первый — для создания возбуждающего поля в ячейке, второй — зондирующий — для регистрации поглощения в отростках ячейки. Частота излучения зондирующего лазера (линия Р(18) перехода 00° 1 — 10° 0 СО₂ в одномодовом режиме) стабилизировалась по резонансу насыщения поглощения SF₆ во

¹⁾ Результаты этой работы были доложены на вавиловской конференции по нелинейной оптике, июнь 1981 г. Новосибирск.

внешней ячейке с точностью ~ 100 кГц. Мощности возбуждающего и зондирующего лазеров были соответственно 5 Вт и 100 мВт. Относительное изменение концентрации SF_6 в различных зонах ячейки регистрировалось по изменению интенсивности зондирующего излучения на выходе из ячейки с точностью $0,1 \div 0,3\%$. Давление газа в ячейке менялось в пределах $0,3 \div 1$ Торр для SF_6 и $2 \div 10$ Торр для He.

Зондирование проводилось в трех зонах ячейки: 1 — горячая и 2, 3 — холодные (рис. 2). В зонах 2 и 3 лазер, создающий возбуждающее поле, был настроен на линию Р(18), в зоне 1 — измерения были сделаны для трех линий Р(18), Р(20), Р(28). При измерениях на линии Р(18) возбуждающий лазер имел частоту, отстроенную относительно линии поглощения SF_6 на +10, либо -10 МГц.

Во всех случаях мы наблюдали два вида изменения интенсивности зондирующего излучения: быстрые (порядка нескольких мс) и медленные (порядка нескольких минут), подобные описанным в работе ⁵. Быстрые изменения, происходящие в моменты включения и выключения возбуждающего поля, происходят вследствие термических эффектов, приводящих к изменению температуры и плотности газа.

Исследования, проведенные в зонах 1, 2, 3 при включении возбуждающего поля, показали, что быстрые процессы, связанные с термическими эффектами, имеют одинаковый знак в зонах 2 и 3 (увеличение концентрации SF_6), а в зоне 1 — противоположный знак. Для нас интерес представляют процессы, ответственные за медленные изменения. Последние совпадают по знаку и соответствуют уменьшению концентрации в зонах 1 и 2, а в зоне 3 — концентрация увеличивается, в случае, когда зона 3 является холодной зоной. При уменьшении коэффициента поглощения, когда излучение возбуждающего лазера поглощалось не полностью, изменение концентрации в зоне 3 меняло знак. Такое изменение знака эффекта может наблюдаться при перестройке на другие линии, где коэффициенты поглощения могут сильно отличаться. В ⁵ такой эффект интерпретировался как СИД. Типичные записи происходящих процессов представлены на рис. 3, демонстрирующем результаты измерений в зоне 2. Точки 1 и 2 соответствуют включению возбуждающего излучения в ячейке. Возбуждающее излучение включалось медленно ($\sim 0,1 - 0,3$ с) и, следовательно, эффекты бародиффузии были исключены, в то время, как результаты экспериментов ^{3,9} объясняются бародиффузией.

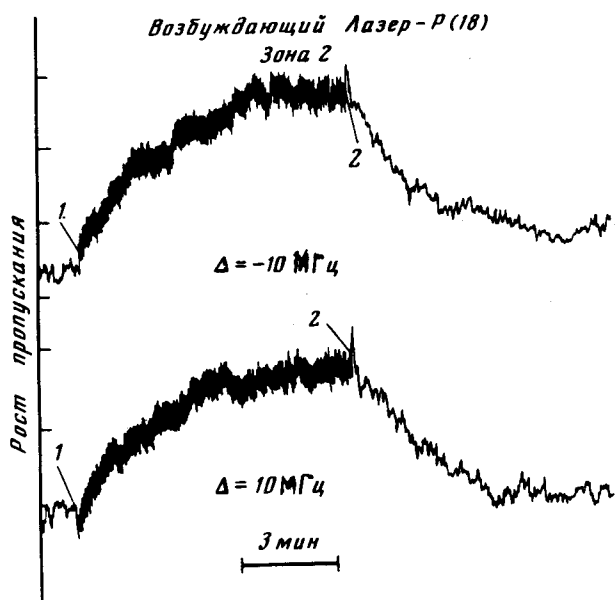


Рис. 3. Изменение пропускания зондирующего излучения в зоне 2. Излучение возбуждающего лазера отстроено для верхней кривой на -10 МГц, для нижней на +10 МГц от центра линии поглощения SF_6 Р(33), A_2^1 полосы ν_3^- . 1 — Момент включения возбуждающего лазера, 2 — момент выключения

Изменение знака отстройки частоты возбуждающего лазера от центра линии SF_6 (рис. 3) не меняет ни характера, ни величины изменения концентрации. При этом учитывалось 10-

процентное изменение мощности возбуждающего лазера при перестройке частоты. Поскольку ни величина, ни знак эффекта не зависят от перестройки частоты, процессы разделения естественно объяснить лазерной термодиффузией.

Эффект СИД основан на различии частот столкновений (или разности сечения) в основном и возбужденном состояниях. Воспользовавшись выражением ⁷ для относительного изменения концентрации

$$\frac{\Delta N}{N} = \frac{\nu_n - \nu_m}{\nu_m} \frac{2\Delta S}{Nh \omega \bar{v}} \phi(\Omega),$$

где $\nu_n - \nu_m / \nu_m$ — относительная разность частот столкновений на верхнем и нижнем уровнях, ΔS — изменение плотности потока энергии при прохождении через ячейку, \bar{v} — среднетепловая скорость, $\phi(\Omega)$ — множитель, зависящий от величины Γ/kv и расстройки частоты лазера от центра линии поглощения, можно дать оценку относительной разности частот столкновений на верхнем и нижнем уровне, соответствующей предельной чувствительности эксперимента. Наибольшую чувствительность по обнаружению светоиндуцированного дрейфа в условиях нашего эксперимента можно было обеспечить при давлениях $SF_6 \sim \sim 0,3$ Тор и He ~ 2 Тор. Поглощенная мощность при этом составляла 3 Вт. Множитель $\phi(\Omega)$ мы приняли равным $\sim 0,25$. При этих условиях мы получили, что $(\nu_n - \nu_m) / \nu_m = = 3 \cdot 10^{-4} \div 6 \cdot 10^{-4}$. Разность частот столкновений на верхнем и нижнем уровнях можно оценить из спектроскопических данных ¹⁰, где измерены константы уширения линий SF_6 в однонаправленных и встречных волнах, составляющие $4 \pm 0,2$ и $3,8 \pm 0,3$ МГц/Тор соответственно. Отсюда можно сделать вывод о том, что частоты столкновений на верхнем и нижнем уровнях отличаются на величину $\sim 5 \cdot 10^{-2}$. Некоторые выводы о разности сечений столкновений можно получить из данных о сдвиге линии. Экспериментальные оценки сдвигов линии SF_6 от концентрации дают величину 70 — 200 кГц/Тор. Можно показать, что в этом случае сечения должны отличаться также на величину 10^{-2} . По-видимому, отсутствие СИД объясняется другими причинами, а не малым различием частот столкновений в основном и возбужденном состояниях.

Таким образом, результаты эксперимента показали, что основным процессом, ответственным за разделение компонент газовой смеси, состоящей из SF_6 и He, под действием непрерывного лазерного излучения, является процесс лазерной термодиффузии ^{1, 2}. Влияние СИДа на изменение концентрации газов в пределах точности нашего эксперимента обнаружено не было.

В заключение авторы выражают благодарность В.П.Чеботаеву за интерес и поддержку работы и Б.Я.Дубецкому за полезные обсуждения.

Литература

1. Карлов Н.В., Петров Ю.И., Федоров И.В. В сб. "Лазерное разделение изотопов". М.: Наука, 1979, 114, 174.
2. Карлов Н.В. Изв. АН СССР, сер. физ., 1980, 44, 10, 2049.
3. Баранов В.Ю., Велихов Е.И., Дыхне А.М., Казаков С.И., Межевов В.С., Орлов М.Ю., Письменный В.Д., Стародубцев А.И., Старостин А.И. Письма в ЖЭТФ, 1980, 31, 475.
4. Панфилов В.Н., Струнин В.П., Чаповский В.Л., Шалагин А.М. Письма в ЖЭТФ, 1981, 33, 52.
5. Дембовецкий В.В., Бондарчук Е.Н., Сурдутович Г.И. Препринт №65 — 81, ИФП СО АН СССР, 1981.
6. Гельмуханов В.Х., Шалагин А.М. Письма в ЖЭТФ, 1979, 29, 773.
7. Мироненко В.Р., Шалагин А.М. Препринт ИАиЭ СО АН СССР №148, 1981.
8. Дыхне А.М., Старостин А.Н. ЖЭТФ, 1980, 79, 1211.
9. Дыхне А.М., Паль А.Ф., Письменный В.Д., Пичугин В.В., Старостин А.Н. Доклады АН СССР, 1982, 262, 331.
10. Василенко Л.С., Свирцов М.Н., Рубцова Н.Н., Чеботаев В.П. Квантовая электроника, 1979, 6, 845.